

[3]



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 199 40 055 C 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 01 F 11/04
F 02 M 51/06
B 05 B 1/30
// F15B 3/00

⑳ Aktenzeichen: 199 40 055.5-52
㉑ Anmeldetag: 24. 8. 1999
㉒ Offenlegungstag: -
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 5. 4. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Gottlieb, Bernhard, Dr., 81739 München, DE;
Kappel, Andreas, Dr., 85649 Brunnthal, DE; Mock,
Randolf, Dr., 81739 München, DE; Meixner, Hans,
Prof. Dr., 85540 Haar, DE; Fischer, Bernhard,
Dipl.-Phys., 84513 Töging, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

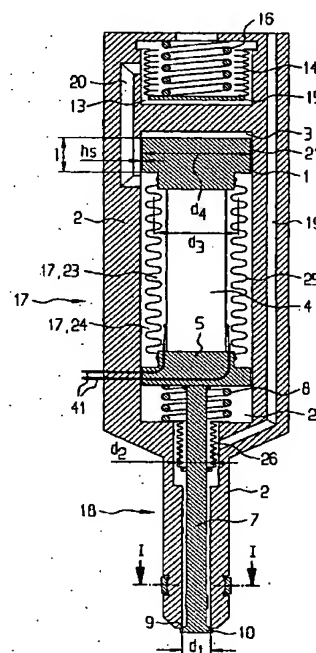
DE 43 06 073 C1
DE 43 06 072 C2
DE 197 27 982 A1
GB 20 56 559 A
EP 28 895 B1

⑤④ **Dosierventil**

⑤⑦ Dosierventil mit:

- einem Ventilraum (18) mit einer Ventilnadel (7), die zusammen mit der Gehäusewand ein Ventil darstellt, welches durch Federkräfte geschlossen und über eine Elongation eines druckvorgespannten Piezoaktors (4) und eine entsprechende Hubbewegung der Ventilnadel (7) zu öffnen ist,
- einem Aktorraum (17) mit dem Piezoaktor (4), wobei ein Hydraulikkolben (1) den Piezoaktor (4) abstützt, der Hydraulikkolben (1) zusammen mit dem Gehäuse (2) eine Hydraulikkammer (3) bildet und der Aktorraum (17) mit der Hydraulikkammer (3) hydraulisch gedrosselt verbunden ist,
- einem axial flexiblen Dichtelement (26), welches den Aktorraum (17) gegen den Ventilraum (18) abdichtet,
- einem mit der Hydraulikkammer (3) in Verbindung stehenden Ausgleichsraum (13),

wobei der Aktorraum (17), die Hydraulikkammer (3) und der Ausgleichsraum (13) mit einer unter Druck stehenden Hydraulikflüssigkeit gefüllt sind, derart, daß dadurch ein dynamisch steifes Lager für den Piezoaktor (4) und ein Längenausgleichselement für zeitlich längere Vorgänge gebildet wird.



DE 199 40 055 C 1

DE 199 40 055 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Dosierventil mit einem elektromechanischen Aktor, der eine Ventilnadel antreibt.

Bei einem Dosierventil mit einem elektromechanischen Aktor als Antriebselement muß darauf geachtet werden, daß

- der Aktor gegenüber dem zu dosierenden Fluid - im folgenden Dosierfluid genannt - geschützt ist,
- eine Zugspannung am Aktor vermieden wird,
- vorhandene Dichtelemente eine hohe mechanische Nachgiebigkeit in Bewegungsrichtung aufweisen, so daß eine Längenkompensation zum Ausgleich thermischer und druckbedingter Längenänderungen und zum Ausgleich herstellungsbedingter Längenstreuungen nicht behindert wird,
- eine hinreichende Druckfestigkeit der Dichtelemente gegeben ist,
- eine geeignete Kompensation druckbedingter Kräfte und/oder thermischer und/oder durch Alterungs- und Setzeffekte bedingter Kräfte bzw. Längenänderungen, zum Beispiel auf eine Ventilnadel, gegeben ist,
- eine hohe Zuverlässigkeit der Dichtelemente hinsichtlich einer Leckage garantiert ist,
- eine hydraulische Längenkompensation im typischen Temperaturintervall von -40° bis $+150^{\circ}$ Celsius gewährleistet ist.

Beispielsweise wirkt aufgrund einer druckbelasteten Fläche eines Ventiltellers eines nach außen öffnenden Dosierventils bei einem hohen Druck des Dosierfluids eine hohe in Öffnungsrichtung wirkende Druckkraft, welche zu einer Leckage des Dosierfluids nach außen führt.

Aus DE 43 06 072 C2 ist eine nach außen öffnende Dosiervorrichtung bekannt, bei der ein Piezoaktor eine Ventilnadel über eine Hydraulikkammer hubübersetzt antreibt. Der Piezoaktor ist in einer separaten Kammer untergebracht und durch O-Ringe gegenüber der Hydraulikflüssigkeit abgedichtet. Der Piezoaktor wird mittels einer Tellerfeder unter einer Druckvorspannung gehalten und stützt sich dazu am Gehäuse ab.

Aus DE 43 06 073 C1 ist ein nach innen öffnendes Einspritzventil bekannt, bei dem der Aktor ebenfalls in einem separaten Raum untergebracht ist und gegenüber den verwendeten Flüssigkeiten durch Abdichtringe abgedichtet ist. Auch hier wird der Piezoaktor am Gehäuse abgestützt und mittels einer Tellerfeder druckvorspannt. Eine Dehnung des Aktors wird über einen Kolben-in-Kolben-Antrieb mit Hubumkehr in einen Hub einer Ventilnadel umgesetzt.

Aus EP 0 218 895 B1 ist ein Zumeßventil zur Dosierung von Flüssigkeiten oder Gasen bekannt, bei dem sich ein Vielschicht-Piezoaktor innerhalb eines Kraftstoff befüllten Bohrungsabschnitts befindet, und eine Endfläche des Piezoaktors mit einer nach außen öffnenden Ventilnadel verbunden ist, während das andere Ende des Piezoaktors mit einem Dämpfungskolben verbunden ist, welcher einen Dämpfungsraum begrenzt. Der Dämpfungsraum ist über mindestens einen Drosselspalt mit einem Ausgleichsraum verbunden, wobei das vom Dämpfungsraum, Drosselspalt und Ausgleichsraum zur Verfügung gestellte Volumen flüssigkeitsgefüllt und hermetisch abgeschlossen ist.

In DE 197 27 992 A1 wird ein Ausgleichselement zur Kompensation temperaturbedingter Längenänderungen beschrieben, welches eine kompakte, mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllte Kammer umfasst. Diese Kammer ist hermetisch dicht abgeschlossen. Eine objektseitige Kammerwand ist in Richtung einer Längsachse verschiebbar.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Do-

sierventil mit einer hydraulischen Längenkompensation bereitzustellen, welche eine langsame Längenkompensation auf einfache Weise realisiert.

Es ist auch eine Aufgabe, eine Möglichkeit zur Dosierung mit einer hohen Präzision bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird mittels eines Dosierventils gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den jeweiligen Unteransprüchen entnehmbar.

Mittels des Dosierventils soll eine unter Druck stehendes Dosierfluid dosiert abgebar sein, z. B. ein Kraftstoff wie Benzin oder Diesel zur Kraftstoffeinspritzung. Die Dosiervorrichtung einen Ventilraum in einem Gehäuse auf, in den eine Ventilnadel aufnehmbar ist.

Die Ventilnadel stellt zusammen mit einer Wand des Gehäuses ein Ventil dar, z. B. ein nach außen öffnendes Teller-ventil oder eine nach innen öffnende Einspritzöffnung. Das Ventil ist durch Federkräfte, die direkt oder indirekt auf die Ventilnadel wirken, verschließbar und über eine Elongation eines Piezoaktors und eine entsprechende Hubbewegung der Ventilnadel zu öffnen. Der Piezoaktor ist zur Vermeidung einer schädlichen Zugspannung druckvorspannt.

Der Piezoaktor befindet sich in einem Aktorraum, wobei ein in Längsrichtung, die der hauptsächlichlichen Dehnungsrichtung entspricht, des Piezoaktors wirkender Hydraulikkolben den Piezoaktor zur der Ventilnadel abgewandten Seite abstützt. Der Hydraulikkolben bildet zusammen mit dem Gehäuse eine Hydraulikkammer, welche mit dem Aktorraum über eine Passung zwischen Hydraulikkolben und Gehäuse miteinander hydraulisch gedrosselt verbunden sind. Dabei beinhaltet die hydraulische Drosselung selbstverständlich, daß sie über die radiale Passungsbreite steuerbar ist.

Weiterhin ist ein axial flexibles Dichtelement vorhanden, welches den Aktorraum gegen den Ventilraum hermetisch abdichtet, so daß kein Flüssigkeitsaustausch zwischen Aktorraum und Ventilraum stattfinden kann. Die Wahl eines axial flexiblen Dichtelementes ist nicht eingeschränkt und kann z. B. eine Metall-, Gummi- oder Plastik-Balg oder auch eine Membran umfassen.

Mit der Hydraulikkammer steht ein Ausgleichsraum in hydraulischer Verbindung. Der Ausgleichsraum muß nicht im Gehäuse angebracht sein, sondern kann beispielsweise auch als eine separate, mit Zuleitungen mit der Hydraulikkammer in Verbindung stehende Kammer ausgeführt sein.

Der Aktorraum, die Hydraulikkammer und der Ausgleichsraum sind mit einer unter Druck stehenden Hydraulikflüssigkeit gefüllt, so daß das System Hydraulikkammer-Ausgleichsraum-Aktorraum-Hydraulikflüssigkeit ein dynamisch steifes Lager für den Piezoaktor und ein Längenausgleichselement für zeitlich längere Vorgänge bildet. Selbstverständlich umfaßt dieses System auch zwischen den Räumen wirkende hydraulische Verbindungen.

Diese Dosierventil besitzt den Vorteil, daß sie keine Dichtungen aufweist, so daß sie sehr wartungsarm ist.

Weiterhin ergibt sich der Vorteil, daß ein Kräftegleichgewicht am Piezoaktor einfach herstellbar ist, und ein Kräftegleichgewicht an der Ventilnadel durch Wahl des Dichtelementes einstellbar ist, z. B. durch Wahl eines hydraulischen Durchmessers bei Verwendung eines Metallbals als Durchführung für die Ventilnadel.

Auch kann vorteilhafterweise ein dauerhafter Grunddruck in der Hydraulikkammer aufrechterhalten werden, wodurch eine gleichbleibende und vom Kraftstoffdruck unabhängige Funktion der Dosiervorrichtung ermöglicht wird.

Durch den Grunddruck ergibt sich weiterhin der Vorteil, daß die Hydraulikkammer kurzfristig hohe Zug- und Druckkräfte aufnehmen kann, wodurch eine Schließen des Ventils sehr viel schneller (typischerweise fünfmal bis zehnmal

schneller) erfolgen kann.

Vorteilhaft ist ebenfalls die durch den Druck der Hydraulikflüssigkeit bedingte hydraulische Druckvorspannung des Piezoaktors, weil dadurch kein Verlust in einer Auslenkung des Piezoaktors auftritt.

Auch kann der Piezoaktor bei direktem Kontakt mit der Hydraulikflüssigkeit vorteilhaft gekühlt werden.

Es ist vorteilhaft, wenn die Hydraulikkammer mit dem Ausgleichsraum direkt mittels einer Drosselbohrung, z. B. einer Mikrobohrung, verbunden ist, weil sich so eine weitgehende Unabhängigkeit von der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit und damit von der Temperatur ergibt.

Es ist auch günstig, wenn die Hydraulikkammer mit dem Ausgleichsraum über die Passung zwischen Hydraulikkolben und Gehäuse und über eine den Aktorraum und den Ausgleichsraum verbindende Verbindungsleitung hydraulisch verbunden ist, was in der Herstellung einfacher ist als die Einbringung einer speziellen Drosselbohrung.

Die Hydraulikflüssigkeit ist günstigerweise ein Silikonöl, welches sehr gute dielektrische und inerte Eigenschaften aufweist. Unter Silikonölen werden vor allem polymere Dimethylsiloxane verstanden. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Silikonöl im Grundzustand blasenfrei eingefüllt wird.

Es wird, insbesondere in einem Kraftstoff-Einspritzventil, bevorzugt, wenn der Druck der Hydraulikflüssigkeit im Bereich von 1 bar bis 20 bar, insbesondere 10 bar bis 20 bar, liegt. Dabei ist es im besonderen Maße vorteilhaft, wenn der Druck der Hydraulikflüssigkeit durch die Federeigenschaften eines Balgs, insbesondere eines Metallbalgs, erbracht wird, der zur Abdichtung der Hydraulikkammer dient. Noch vorteilhafter ist es, wenn zur Aufbringung des Druckes zusätzlich ein Federelement vorhanden ist.

Die Ventlnadel ist günstigerweise mit einer Fußplatte des Piezoaktors verschweißt, so daß eine Spaltfederung minimiert wird und gleichzeitig der Piezoaktor vor ungünstigen Spannungsüberhöhungen geschützt ist.

Es ist vorteilhaft, wenn der Piezoaktor ein piezoelektrischer Mehrschichtaktor ist.

Es ist auch vorteilhaft, wenn der Piezoaktor mittels einer Rückstellfeder druckvorgespannt wird, z. B. einer im Aktorraum eingebrachten Feder, welche sich am Gehäuse und an der Fußplatte abstützt.

Zur einfachen Herstellung und verlustfreien Kraftübertragung ist es günstig, wenn der Piezoaktor in eine Rohrfeder, insbesondere eine Schlitz-Rohrfeder, eingebracht ist und von dieser druckvorgespannt wird.

Es ist zur verbesserten Druckvorspannung und zur Kapselung des Piezoaktors vorteilhaft, wenn der Piezoaktor in einen Balg, insbesondere einen Metallbalg, eingebracht ist und von diesem druckvorgespannt wird. Bei hermetischer Verschweißung teilt der Balg den Aktorraum in einen Aktor-Innenraum und einen dagegen hydraulisch abgedichteten Aktor-Außenraum. Der Aktor-Außenraum weist die Eigenschaften des Aktorraums in Beziehung auf Befüllung und hydraulische Verbindungen auf, während der der Aktor-Innenraum abgeschlossen ist. Dadurch ist es möglich, die statischen und dynamischen Eigenschaften der Dosiervorrichtung zu erhalten, und gleichzeitig den Piezoaktor zu schützen. Dieser Schutz kann unter anderem darüber geschehen, daß eine gegenüber dem Aktor chemisch inerte Atmosphäre im Aktor-Innenraum hergestellt wird und dadurch, daß nun durch einen Druckunterschied zwischen Aktor-Außenraum und Aktor-Innenraum eine zusätzliche Druckkraft auch den Piezoaktor ausgeübt wird.

Es ist dabei günstig, falls der Aktor-Innenraum, der den Piezoaktor umschließt, keine Hydraulikflüssigkeit aufweist, sondern bevorzugt eine inerte Flüssigkeit oder ein inertes

Gas, hingegen der Aktor-Außenraum mit der Hydraulikflüssigkeit befüllt ist.

Zur einfachen Herstellung, Kapselung und Druckvorspannung ist es besonders vorteilhaft, wenn der Aktor-Innenraum mit Luft oder Schweißgas unter Atmosphärendruck befüllt ist.

Zur Kräfteeinstellung an der Ventlnadel ist es vorteilhaft, wenn das axial flexible Dichtelement, welches den Aktorraum gegen den Ventilraum trennt, ein Federbalg, insbesondere ein weiterer Metallbalg ist, der einerseits an der Ventlnadel und andererseits am Gehäuse angelenkt ist. Dies wird z. B. dadurch verwirklicht, daß der Metallbalg als Durchführung der Ventlnadel vorgesehen ist. In diesem Fall ist es besonders vorteilhaft, daß der hydraulische Durchmesser d_2 des Metallbalgs mit dem Durchmesser d_1 der Öffnung des Tellerventils, der Dichtlinie, abstimmbar. Bei einer Abstimmung gemäß der Beziehung $d_1 = d_2$ wird günstigerweise keine zusätzliche Kraft auf die Ventlnadel ausgeübt. Es kann aber auch eine Wahl von $d_1 < d_2$ zur Herstellung einer zusätzlichen Schließkraft an der Ventlnadel günstig sein, z. B. bei einem höheren Druck des Dosierfluids.

Fig. 1a zeigt ein Dosierventil mit einem Piezoaktor, einer Ventlnadel und einem Hydraulikdämpfungssystem, wobei die Hydraulikkammer mit dem Aktorraum im verbunden ist,

Fig. 1b zeigt einen dem in Fig. 1a beschriebenen Dosierventil entsprechenden Querschnitt innerhalb einer Ventilkammer,

die Fig. 2a und 2b zeigen Prinzipskizzen zur Definition von in dieser Beschreibung verwendeten Größen,

Fig. 3 zeigt ein System entsprechend Fig. 1, wobei im Gegensatz dazu die Ventlnadel und der Piezoaktor nicht fest miteinander verbunden sind,

Fig. 4 zeigt ein Dosierventil entsprechend Fig. 1, wobei die Verbindung zwischen der Hydraulikkammer und Ausgleichsraum über eine Systemdichtspalt-Ausgleichsbohrung geschieht,

Fig. 5 zeigt ein System entsprechend Fig. 1, wobei im Gegensatz dazu die Ventlnadel und der Piezoaktor nicht fest miteinander verbunden sind.

Fig. 2a zeigt als Seitenansicht in Schnittdarstellung ein Gehäuse 101, welches einen in einer Bohrung axialverschiebbar angeordneten Hydraulikkolben 103 enthält. Durch den Hydraulikkolben 103 wird eine Bohrung des Gehäuses 101 in eine Hydraulikkammer 131 und eine Arbeitskammer 161 unterteilt. Im Arbeitsraum 161 ist der Hydraulikkolben 103 durch einen bezüglich der Längsachse der Bohrung rotationssymmetrischen Metallbalg 25 mit dem Gehäuse 101 verbunden. Durch den Metallbalg 25 wird die Arbeitskammer 161 wiederum in einen Aktor-Innenraum 81 und in einen Aktor-Außenraum 82 unterteilt.

Über eine Zuleitung 19 wird der Hydraulikraum 131 und dadurch durch eine Passung zwischen Hydraulikkolben 103 und Gehäuse 101 der Aktor-Außenraum 82 mit einem Druck p_A beaufschlagt. In diesem Ausführungsbeispiel ist keine weitere Zuleitung zum Aktor-Außenraum 82 gegeben.

Der vom Aktor-Außenraum 82 abgetrennte Aktor-Innenraum 81 stehe unter einem Druck p_I , wobei gelte $p_I \neq p_A$. Dadurch wirkt auf den Metallbalg 25 die Druckkraft F_p , welche für den Fall $p_A > p_I$ den Metallbalg 25 komprimiert. Die auf den Hydraulikkolben 103 ausgeübte Kraft F_p entspricht also der Vektoraddition der auf die Oberfläche des Hydraulikkolbens 103 wirkenden Kräfte.

In diesem Ausführungsbeispiel ist der Hydraulikkolben 103 gestuft mit einem größeren Durchmesser und einem kleineren Durchmesser ausgeführt, wobei der Metallbalg 25 einerseits an der Außenseite des Hydraulikkolbens 103 am kleineren Durchmesser angebracht ist und andererseits bei gleichem Durchmesser an einer umlaufenden Nase des Ge-

häuses 1.

Der hydraulische Durchmesser d_h bzw. der hydraulische Querschnitt A_h (auch wirksamer Balgquerschnitt genannt) ergibt sich aus der Kraft F_p nach der Formel

$$F_p = \pi \cdot d_h^2/4 \cdot (p_A - p_I) = A_h \cdot (p_A - p_I). \quad (1)$$

Dabei gilt unter der Bedingung $p_A > p_I$ im allgemeinen $d_h >$ kleinerer Durchmesser des Hydraulikkolbens 103. Dies liegt unter anderem daran, daß die Wellen der Metallbalgs 25 durch die Druckdifferenz in axialer Richtung zusammengedrückt werden.

Eine weitere Beschreibung des hydraulischen Querschnitts A_h wird in: Witzenmann GmbH: Metallbälge, 1997, Seiten 82 und 101, gegeben.

Selbstverständlich gelten die gleichen Zusammenhänge auch für andere Ausführungen von Bälgen, z. B. Plastikbälge.

In Fig. 2b ist der in Bezug auf das Kräftegleichgewicht zu Fig. 2a analoge Fall eines Hydraulikkolbens 104 gegeben, welcher aber nun auf der der Hydraulikkammer 103 abgewandten Seite nicht mit einem Metallbalg 25 verbunden ist, sondern auf einem zweiten Zulauf 22 aufliegt, wobei der zweite Zulauf 22 unter einem Druck p_I steht. Der Hydraulikkolben 104 weist einen hydraulischen Durchmesser d_h auf.

Fig. 1a zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht eines Dosierventils als Einspritzventil für Kraftstoff mit einem hydraulischen Längenausgleichselement.

Das Längenausgleichselement umfaßt einen Hydraulikkolben 1 einer Antriebseinheit, der zusammen mit dem Gehäuse 2 des Dosierventils eine Hydraulikkammer 3 bildet. Der Hydraulikkolben 1 weist einen Durchmesser d_4 auf. Die Hydraulikkammer 3 ist über eine gedrosselte Verbindung in Form einer engen Passung 21 zwischen Hydraulikkolben 1 und Gehäuse 2 mit einem Aktorraum 17 verbunden.

Im Aktorraum 17 befindet sich ein piezoelektrischer Multilayeraktor (PMA) 4, vorzugsweise in Niedervolttechnik, als Teil der Antriebseinheit. Der PMA 4 ist über den Hydraulikkolben 1 und eine Fußplatte 5 innerhalb eines Metallbalgs 25 mit hydraulischem Durchmesser d_3 hermetisch dicht eingeschweißt. Durch den Metallbalg 25 wird der Aktorraum 17 in einen Aktor-Innenraum 23, der den PMA 4 umfaßt und der nicht mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist, und einen Aktor-Außenraum 24, der mit der Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist, unterteilt. Der Aktor-Innenraum 23 ist bevorzugt unter Atmosphärendruck mit Luft gefüllt.

Die Verschweißung des Metallbalgs 25 ist günstig zur Abdichtung des Piezoaktors 4 gegenüber der Hydraulikflüssigkeit und zur Vermeidung eines Prellvorgangs zwischen der Antriebseinheit und einer Ventalnadel 7. Zudem wird durch den Metallbalg 25 der PMA 4 unter einer Druckvorspannung (typischerweise ca. 500 N) gehalten.

Die Fußplatte 5 kann wahlweise so gestaltet sein, daß sie gemeinsam mit dem Ventilgehäuse 2 als Führung für die Ventalnadel 7 dient. Dies erfordert eine Führung der Fußplatte 5 innerhalb des Aktorraums 17, wobei die Führung der Ventalnadel 7 an ihrem äußeren unteren Ende ausreicht. Diese Führung bewirkt eine Stabilisierung der Ventalnadel 7.

In den Ventilkörper ist ein Ventilsitz 9 eingearbeitet, der zusammen mit dem am unteren Ende der Ventalnadel 7 befindlichen Ventilteller 10 ein Tellerventil bildet. Der Durchmesser des Ventilsitzes 9, der dem äußeren Durchmesser des Tellerventils entspricht, wird als Dichtlinie d_1 bezeichnet.

Eine druckvorspannte Rückstellfeder 8 hält das Tellerventil mit einer Rückstellkraft F_r im Ausgangszustand der Dosiervorrichtung, bei dem dieser kontrahiert ist, geschlos-

sen. Die Rückstellfeder ist am Gehäuse 2 und an der Fußplatte 5 abgestützt.

Ein Teil der Ventalnadel 7 ist von einem Ventilraum 18 umgeben, der durch die Ventalnadel 7 und das Gehäuse 2 gebildet wird. Der Ventilraum 18 wird hier durch eine Bohrung gebildet, in der die Ventalnadel 7 weit geführt wird. Er ist mittels einer Fluid- bzw. Kraftstoffzuführung 19 druckbeaufschlagbar und mit dem Tellerventil hydraulisch verbunden, so daß bei geöffnetem Tellerventil, d. h. wenn der Ventilteller 10 vom Ventilsitz 9 abgehoben ist, ein Fluidstrom vom Ventilraum 18 zum Tellerventil fließt und das Dosierfluid über das Tellerventil nach außen abgegeben wird.

Der Ventilraum 18 ist gegenüber dem Aktorraum 17 durch eine in Verschiebungsrichtung der Ventalnadel 7 flexible Abdichtung, hier: ein weiterer Metallbalg 26 mit hydraulischem Durchmesser d_2 , hermetisch abgedichtet. Der weitere Metallbalg 26 wird durch dichtende Schweißnähte an seinem unteren Ende mit der Ventalnadel 7 und an seinem oberen Ende mit dem Gehäuse 2 verbunden, so daß seine Außenseite dem Druck des von der Fluid- bzw. Kraftstoffzuführung 19 angelieferten Dosierfluids ausgesetzt ist und seine Innenseite dem Niederdruck p_h der Hydraulikflüssigkeit.

Der hydraulische Durchmesser d_2 des Metallbalgs d_2 ist mit der Dichtlinie d_1 abstimmbar. Bei einer Abstimmung gemäß der Beziehung $d_1 = d_2$ wird keine zusätzliche Kraft auf die Ventalnadel 7 ausgeübt. Es kann aber auch eine Wahl von $d_1 < d_2$ zur Herstellung einer zusätzlichen Schließkraft an der Ventalnadel 7 günstig sein, z. B. bei einem höheren Druck des Dosierfluids.

Möglichst nahe am Ventilteller 10 ist auch die Führung der Fußplatte 5 platziert, entsprechend dieser Figur derart ausgebildet ist, daß sie bei geöffnetem Tellerventil den Flüssigkeitsstrom nicht drosselt (siehe Schnitt I-I in Fig. 1b).

Der Aktor-Außenraum 24 steht über eine Ausgleichsbohrung 20 mit einem Ausgleichsraum 13 in ungedrosselter fluidischer Verbindung. Dadurch werden Kompressionseffekte der im Aktor-Außenraum 24 befindlichen Hydraulikflüssigkeit vermieden, z. B. bei Verschiebung von im Aktorraum 17 befindlichen Elementen.

Der Ausgleichsraum 13 wird durch das Gehäuse 2 und eine flexible, hermetisch dichte Abdichtung nach außen hin gebildet. Die flexible Abdichtung wird in dieser Figur durch einen Metallbalg 14 dargestellt werden, der mit einer Abschlußscheibe 15 seinem an einem Ende und an seinem anderen Ende mit dem Gehäuse 2 verschweißt ist. Es kann aber beispielsweise auch eine Metall-, Gummi- oder Kunststoffmembrane (z. B. Blasen Speicher) zum Einsatz kommen, da es sich lediglich um flexible Niederdruckabdichtungen handelt. Das Ausgleichsvolumen des Ausgleichsraumes 13 könnte auch durch einen Kolben mit O-Ringdichtung abgeschlossen werden. Der Ausgleichsraum 13 dient dazu, eine Volumenänderung der Hydraulikflüssigkeit im Aktorraum 17, z. B. aufgrund einer Längenkompensation oder einer thermische Volumenänderung, ohne einen signifikanten Druckanstieg auszugleichen.

Die Hydraulikkammer 3, die Ausgleichsbohrung 20, der Ausgleichsraum 13 und der Aktor-Außenraum 24 sind im Grundzustand des Dosierventils blasenfrei mit der Hydraulikflüssigkeit gefüllt. Die Hydraulikflüssigkeit wird beispielsweise durch eine weiche Druckfeder 16 unter einen geringen Vordruck p_h von ca. 1 bar bis 20 bar, vorzugsweise 10 bar bis 20 bar, versetzt. Die Druckfeder 16 ist zwischen dem Gehäuse und der Abschlußscheibe 15 eingespannt. Wenn die Federwirkung der flexiblen Abdichtungen, hier: der Metallbälge 14, 25, 26, selbst ausreicht, um die Hydraulikflüssigkeit hinreichend unter Vorspannung zu setzen,

kann auf eine zusätzliche Feder 16 verzichtet werden.

Mittels des Vordrucks p_h wird eine schädliche Kavitation in der Hydraulikkammer 3 vermeiden.

Zudem wird auf den Piezoaktor 4 eine hydraulische Druckkraft $F_d = p_h \cdot \pi \cdot d^2/4 \approx 15 \text{ N}$ bis 300 N in axialer Richtung ausgeübt, mittels der eine Schädigung durch eine Zugspannung weiter verringert ist. Die hydraulische Druckkraft F_d wird additiv zur Federkraft F_d .

Weiterhin wird durch den Vordruck eine kleine Menge der Hydraulikflüssigkeit, die während der Öffnungsphase des Dosierventils aus der Hydraulikkammer 3 durch die Drosselblende in den Ausgleichsraum 13 gedrängt wird, während der Phase, in der das Einspritzventil geschlossen ist, wieder zurück in die Hydraulikkammer 3 geführt. Dabei wird die Antriebseinheit wieder in die Ausgangsposition gebracht.

Zur Wirkungsweise, insbesondere der Hydraulikkammer 3 des hydraulischen Längenausgleichselements, ist folgendes zu sagen: Das Längenausgleichselement soll innerhalb einer typischen Einspritzzeit von beispielsweise 1 bis 5 ms als steifes Lager wirken. Die Kraft der Rückstellfeder 8 von ca. 50 bis 150 N und zusätzlich die auftretenden Beschleunigungskräfte, die während des Öffnens und des Schließens des Ventils innerhalb der Schaltzeit wirken, soll das Längenausgleichselement ohne nennenswerten Einfluß auf die Höhe der Hydraulikkammer 3 aufnehmen. Die Schaltzeiten liegen typischerweise im Bereich von 100 bis 200 μs , die Einspritzzeiten zwischen 1 ms und 5 ms.

Thermische Längenänderungen hingegen, die in Zeitspannen von etlichen Sekunden bis Minuten stattfinden, soll das Ausgleichselement durch Austausch von Hydraulikflüssigkeit mit dem Ausgleichsraum 13 abfangen.

In dieser Figur wird durch die enge Passung 21 die oben beschriebene gewünschte Charakteristik des hydraulischen Lagers erzielt. Dazu ist es nötig, die Passung 21 derart auszulegen, daß binnen typischer Einspritzzeiten praktisch kein Austausch der Hydraulikflüssigkeit stattfinden kann. Andererseits soll der Flüssigkeitsaustausch aber binnen typischer Zeiten für thermische Längenänderungen ungehindert stattfinden.

Die Hydraulikkammer 3 besitzt aufgrund der Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit eine Steifigkeit, die um so höher ist, je geringer die Höhe der Hydraulikkammer 3 ausgelegt ist. Daher sollte die Hydraulikkammer 3 nicht höher als zum Ausgleich von Fertigungstoleranzen und thermischen Längenänderungen unbedingt nötig ausgelegt werden.

Auch sollte das Ausgleichsvolumen so gering wie möglich gehalten werden, damit die zusätzlichen thermische Volumenänderung der Hydraulikflüssigkeit über den typischen Temperaturbereich von -40° bis $+150^\circ\text{C}$ möglichst gering gehalten wird und vom flexiblen Dichtelement, dem Metallbalg 14, ohne nennenswerte Druckänderung in der Hydraulikflüssigkeit abgefangen wird.

Bei einem Einspritzvorgang wird der PMA 4 über seine elektrischen Anschlüsse 41 elongiert. Aufgrund der kurzen Zeitdauer des Einspritzvorgangs (typischerweise $1 \text{ ms} \leq 5 \text{ ms}$ mit einer Dauer des Stellvorgangs zwischen $100 \mu\text{m}$ und $200 \mu\text{m}$) verhält sich die Hydraulikkammer 3 in sehr guter Näherung steif, so daß der PMA 4 daran abgestützt wird. Die Dehnung des PMA 4 (typischerweise zwischen $30 \mu\text{m}$ und $60 \mu\text{m}$) wird also fast vollständig in einen Hub der Ventalnadel 7 umgewandelt. Die Ventalnadel 7, und damit der Ventilteller 10, wird vom Dichtsitz 9 abgehoben, wodurch das Tellerventil geöffnet wird. Vom Ventilraum 18 fließt Dosierfluid durch die weite Passung zwischen Ventalnadel 7 und Gehäuse 2 zum Tellerventil und wird von dort nach außen abgegeben. Über die Zuleitung 19 wird der Ventilraum

18 mit Dosierfluid nachgefüllt.

Zum Abschluß eines Einspritzvorganges, wenn der PMA über seine elektrischen Anschlüsse 41 entladen und somit kontrahiert. Dadurch wird der Ventilteller 10 auf den Dichtsitz 9 aufgesetzt, und Tellerventil wird geschlossen. Die Rückstellung der Ventalnadel 7 geschieht dabei vor allem durch eine hydraulische Druckvorspannung des PMA sowie den Druck von Rückstellfeder 8 und die Metallbalg 25.

Die Hydraulikkammer 3 ist aufgrund ihrer hohen Steifigkeit und insbesondere des Drucks der Hydraulikflüssigkeit kurzfristig in der Lage, auch hohe Zugkräfte aufzunehmen.

Zur Auslegung der Hydraulikkammer 3 dienen folgende Abhängigkeiten:

der typische Durchmesser d_4 des Hydraulikkolbens 1 und der Hydraulikkammer 3 beträgt: $d_4 = 18 \text{ mm}$, woraus eine zugehörige Kolbenfläche $A_k = 254 \text{ mm}^2$ folgt. Die typische Kammerhöhe h_k beträgt $500 \mu\text{m}$, und eine typische Kompressibilität χ der Hydraulikflüssigkeit beträgt $\chi = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N}$. Die minimale Steifigkeit (Federkonstante) c_k der Hydraulikkammer 3 errechnet sich daraus zu:

$$c_k = A_k / (\chi \cdot h_k) \approx 500 \text{ N}/\mu\text{m}. \quad (1)$$

Es folgt für die den Hubverlust Δx_1 aufgrund der Steifigkeit der Hydraulikkammer 3 bei einer mittleren von der Hydraulikkammer 3 während des Einspritzvorganges zu tragenden Kraftdifferenz $\Delta F = 200 \text{ N}$, daß $\Delta x_1 = \Delta F / c_k = 0,4 \mu\text{m}$.

Der Hubverlust Δx_2 aufgrund des Flüssigkeitsstroms Q_L durch die Passung 21 während der Zeit t eines Einspritzvorganges errechnet sich aus $\Delta x_2 = \Delta V / A_k$, mit ΔV dem Volumenverlust. Es gilt, daß $\Delta V = Q_L \cdot t$ für ein typisches Silikonöl (z. B. Baysilone M 50), mit $Q_L = 2,5 \cdot \pi \cdot d_4 \cdot h^3 \cdot \Delta P / (12 \cdot \eta \cdot l)$,

mit radialer Passungsbreite $h_s = 2 \mu\text{m}$, Druckdifferenz $\Delta P = \Delta F / A_k < 8 \text{ bar}$, kinematische Viskosität ν (bei $T = 140^\circ\text{C}$) $= 10 \text{ mm}^2/\text{s}$ und Dichte ρ (bei $T = 140^\circ\text{C}$) $= 0,87 \text{ g}/\text{cm}^3$ und daraus dynamische Viskosität η (bei 140°C) $= \nu \cdot \rho = 8,7 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ und Länge l der Passung in axialer Richtung $= 10 \text{ mm}$. Es folgt, daß der Hubverlust Δx_2 der Dosiervorrichtung durch Volumenverlust der Hydraulikkammer 3 kleiner als $0,02 \text{ m}$ beträgt.

Der gesamte Hubverlust $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 < 0,5 \mu\text{m}$ ist somit für den Betrieb der in dieser Figur dargestellten Dosiervorrichtung ausreichend klein.

In Fig. 1b ist ein Querschnitt entlang einer in Fig. 1a eingezeichneten Ebene I dargestellt.

Man erkennt einen ringförmigen Querschnitt des Gehäuses 2, in dem eine Ventalnadel 7 mit quadratischem und an den Ecken abgerundeten Querschnitt eingebracht ist. Mittels dieser Anordnung ist es möglich, die Ventalnadel 7 mit guter Genauigkeit zu führen und gleichzeitig einen großen Volumenstrom von Dosierfluid an der Ventalnadel 7 zu garantieren.

Fig. 3 zeigt ein zum Dosierventil in Fig. 1a analoges Dosierventil, bei der der Metallbalg 25 nun durch eine Rohrfeder 6 ersetzt ist. Dabei steht der PMA 4 in direktem Kontakt mit der Hydraulikflüssigkeit. Als Hydraulikflüssigkeit wird vorzugsweise eine chemisch reaktionsträge Flüssigkeit verwendet wie z. B. die aufgrund ihrer dielektrischen und inerten Eigenschaften hervorragend geeigneten Silikonöle (= polymere Dimethylsiloxane).

Die Rohrfeder 6 besitzt gegenüber dem Metallbalg 25 den Vorteil, daß sie vergleichsweise preiswert ist, insbesondere eine Schlitzzrohrfeder läßt sich einfach in hohen Stückzahlen herstellen.

Durch den direkten Kontakt des PMA 4 mit der Hydraulik-

likflüssigkeit ergibt sich günstigerweise eine sehr gute Abführung der am PMA 4 erzeugten Joule'schen Verlustwärme an die Umgebung. Zudem ist der PMA 4 hervorragend gegen Umwelteinflüsse geschützt.

Fig. 4 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine Dosierventil, bei der im Gegensatz zum Dosierventil in Fig. 1a der Ausgleichsraum 13 mit dem Hydraulikraum 3 ausschließlich über eine Drosselbohrung 12 zusammenhängt.

Bei Einsatz einer Drosselbohrung 12 wird die Drosselwirkung überwiegend durch Turbulenzen erzeugt. Somit ist diese Funktion weitgehend unabhängig von der Viskosität der Hydraulikflüssigkeit und damit von der Temperatur.

Die Viskosität von Hydraulikfluiden sinkt im kraftfahrzeugtechnisch relevanten Temperaturbereich von -40° bis $+150^{\circ}$ Celsius typischerweise um den Faktor von 20 bis 50 bei Silikonölen und um einen Faktor von bis zu 100.000 bei Mineralölen.

Im Gegensatz dazu dient in der Patentschrift EP 0 218 895 B1 und in Fig. 3 der Ringspalt bzw. Dichtspalt des Hydraulikkolbens als Drosselement. Die Drosselwirkung eines derartigen Ringspaltes ist direkt proportional zur Viskosität und daher in hohem Maße temperaturabhängig.

Die Drosselbohrung 12 ist bevorzugt als Mikrobohrung mit einem für den kraftfahrzeugtechnischen Einsatzfall typischen Durchmesser zwischen $10\text{ }\mu\text{m}$ und $50\text{ }\mu\text{m}$ ausgeführt. Eine derartige Mikrobohrung kann beispielsweise mit Hilfe der Lasertechnik oder durch galvanisches Abscheiden von Nickel innerhalb bereits bestehender Bohrungen genau und reproduzierbar hergestellt werden.

Fig. 5 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht ein Dosierventil, bei dem im Gegensatz zum Dosierventil in Fig. 3 der Ausgleichsraum 13 mit dem Hydraulikraum 3 ausschließlich über eine gedrosselte Bohrung 12 zusammenhängt. Bei allen Ausführungsformen kann selbstverständlich der Ausgleichsraum 13 auch außerhalb des Gehäuses 2 als separate, z. B. mittels fester Leitungen verbundener, Kammer ausgeführt sein. Auch kann statt eines Piezoaktors 4 ein anderer elektromechanischer Aktor, z. B. ein elektro- oder magnetostriktiver Aktor, verwendet werden.

Patentsprüche

1. Dosierventil zur Dosierung eines unter Druck stehenden Dosierfluids, aufweisend:
 - einen Ventilraum (18) in einem Gehäuse (2) zur Aufnahme einer Ventilnadel (7), die zusammen mit einer Wand des Gehäuses (2) ein Ventil darstellt, welches durch Federkräfte geschlossen und über eine Elongation eines druckvorgespannten Piezoaktors (4) und eine dadurch bewirkte Hubbewegung der Ventilnadel (7) zu öffnen ist,
 - einen Aktorraum (17) zur Aufnahme des Piezoaktors (4), wobei ein in Längsrichtung des Piezoaktors (4) wirkender Hydraulikkolben (1) den Piezoaktor (4) zu der Ventilnadel (7) abgewandten Seite abstützt, der Hydraulikkolben (1) zusammen mit dem Gehäuse (2) eine Hydraulikkammer (3) bildet, und die Hydraulikkammer (3) mit dem Aktorraum (17) über eine Passung (21) zwischen Hydraulikkolben (1) und Gehäuse (2) miteinander hydraulisch gedrosselt verbunden ist,
 - einen mit der Hydraulikkammer (3) in Verbindung stehenden Ausgleichsraum (13),
 - ein axial flexibles Dichtelement (26), welches den Aktorraum (17) gegen den Ventilraum (18) hermetisch abdichtet, und das einerseits an der Ventilnadel (7) angebracht und andererseits mit

dem Gehäuse (2) verbunden ist, wobei

– der Aktorraum (17), die Hydraulikkammer (3) und der Ausgleichsraum (13) mit einer unter Druck stehenden Hydraulikflüssigkeit gefüllt sind.

2. Dosierventil nach Anspruch 1, wobei die Hydraulikkammer (3) mit dem Ausgleichsraum (13) direkt mittels einer Drosselbohrung (12) verbunden ist.
3. Dosierventil nach Anspruch 1, wobei die Hydraulikkammer (3) mit dem Ausgleichsraum (13) über die Passung (21) zwischen Hydraulikkolben (1) und Gehäuse (2) und über eine den Aktorraum (17) und den Ausgleichsraum (13) verbindende Verbindungsleitung (20) hydraulisch verbunden ist.
4. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Hydraulikflüssigkeit ein im Grundzustand blasenfreies Silikonöl ist.
5. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Druck der Hydraulikflüssigkeit im Bereich von 1 bar bis 20 bar, insbesondere 10 bar bis 20 bar, liegt.
6. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Druck der Hydraulikflüssigkeit durch die Federeigenschaften eines Metallbalges (14) erbracht wird, der zur Abdichtung der Hydraulikkammer (13) dient.
7. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Aufbringung des Druckes zusätzlich eine Feder (16) vorhanden ist.
8. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ventilnadel (7) mit einer Fußplatte (5) des Piezoaktors (4) verschweißt ist.
9. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Piezoaktor (4) ein piezoelektrischer Mehrschichtaktor ist.
10. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Piezoaktor (4) mittels einer Rückstellfeder (8) druckvorgespannt wird.
11. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Piezoaktor (4) in eine Rohrfeder (6) eingebracht ist und von dieser druckvorgespannt wird.
12. Dosierventil nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem
 - der Piezoaktor (4) in einen Metallbalg (25) eingebracht ist und von diesem druckvorgespannt wird, und
 - der Metallbalg (25) den Aktorraum (17) in einen Aktor-Innenraum (23) und einen dagegen hydraulisch abgedichteten Aktor-Außenraum (24) unterteilt,
 wobei
 - der Aktor-Innenraum (23) keine Hydraulikflüssigkeit aufweist und den Piezoaktor (4) umschließt, und
 - der Aktor-Außenraum (24) mit der Hydraulikflüssigkeit befüllt ist.
12. Dosierventil nach Anspruch 11, bei dem der Aktor-Innenraum (23) mit Luft unter Atmosphärendruck befüllt ist.
13. Dosierventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das axial flexible Dichtelement ein Federbalg, insbesondere ein weiterer Metallbalg (26) ist, der einerseits an der Ventilnadel (7) und andererseits am Gehäuse (2) angelenkt ist.
14. Dosierventil nach Anspruch 13, bei dem ein hydraulischer Durchmesser d2 des Federbalgs einem Durchmesser d1 einer Dichtlinie des Tellerventils ent-

spricht.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 2A

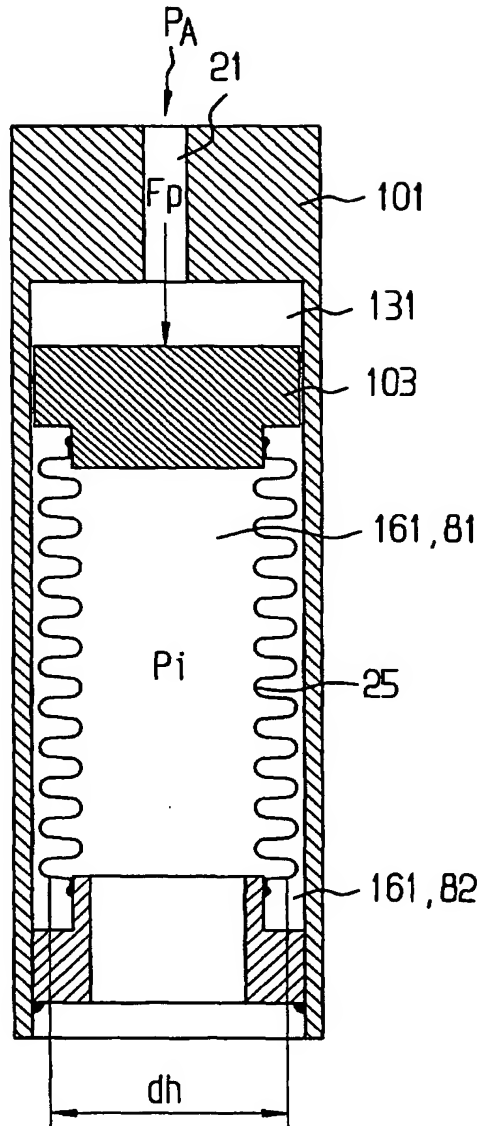


FIG 2B

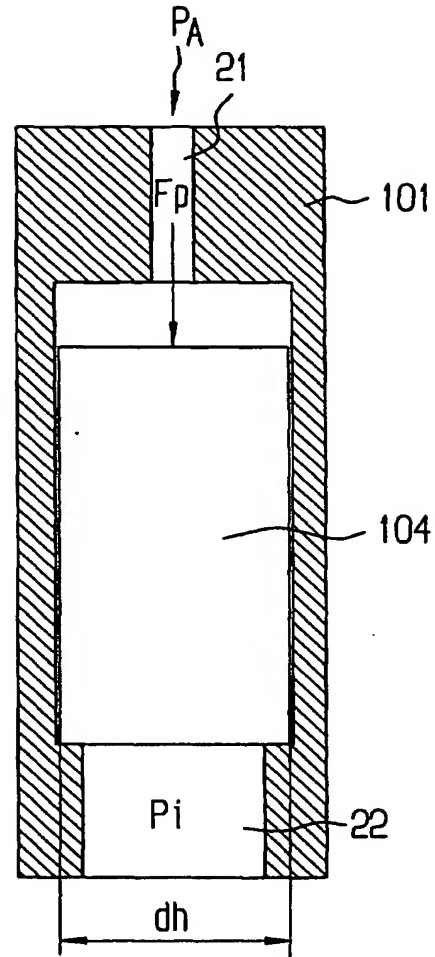


FIG 3

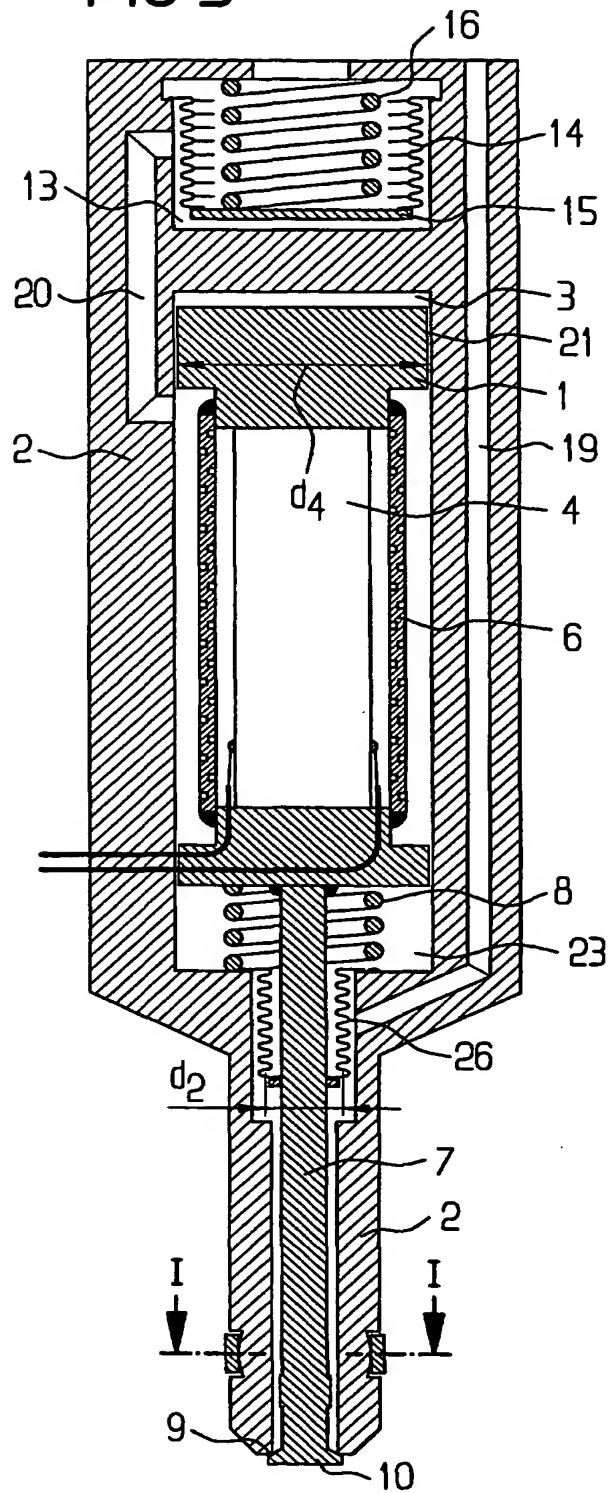


FIG 4

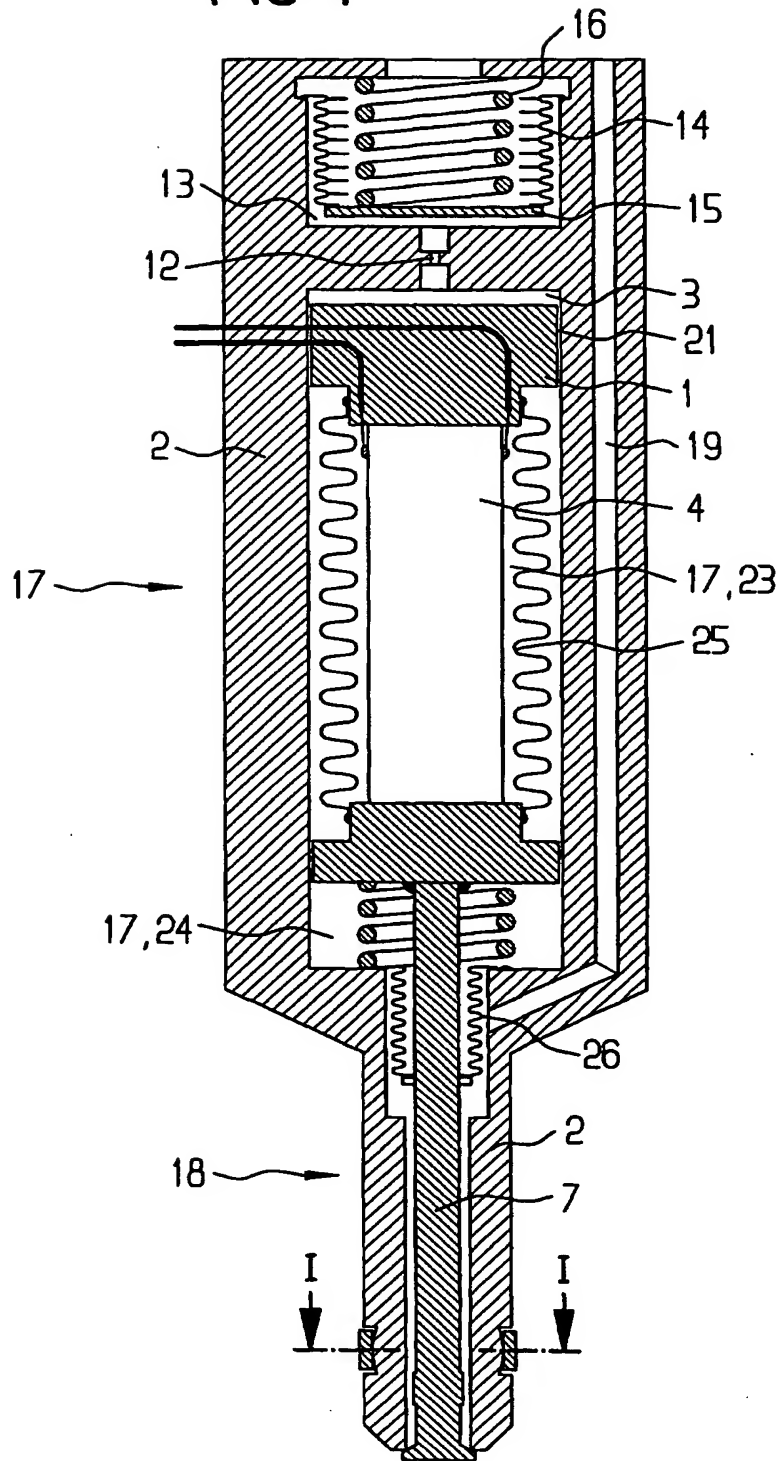


FIG 5

